

第1節 自然科学的立場からのモニタリング

3. メソ視点より一濁水の行方

3.5 蛇砂川-西の湖水系に於ける N_2O の発生Narin Boontanon¹⁾、和田英太郎²⁾※1)、高津文人³⁾※2)

1) タイ国マヒドン大学、2) 総合地球環境学研究所、3) 京都大学生態学研究センター

※1) (現所属) 海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター

※2) (現所属) 独立行政法人科学技術振興機構

要約

蛇砂川は琵琶湖東岸に位置する小河川で、丘陵から始まり、町を抜け、安土城跡の南側に位置する内湖、西の湖に注ぐ。その $\delta^{15}N$ (PON) と人口密度には一定の関係が見出されている。この下流域は有機物に富む汚泥が堆積し、最下流域と西ノ湖堆積物は高い N_2O 放出能を示す。酸化還元境界層の層状構造は乱れ、堆積物表層は酸化部位と還元部位が入れ子構造になり、そこに NO_3^- に富む水が流入し、脱窒がセミアネロビク(半嫌気条件下)で生起していることが NO_3^- -Nの濃度と N_2O の $\delta^{15}N$ から推察された。このような事実から、都市周辺の汚濁の進んだ小河川は N_2O が最終生成物となる脱窒系が駆動している可能性が高いことを提示した。以上の事実から現在の合併水槽下水処理方式では適正な人口密度は100-200人/ km^2 と推定された。このようなセミアネロビク(半嫌気条件下)な場について今後本格的な基礎的な研究が必要不可欠となる。

1. はじめに

人口の増加に伴って、エネルギーと食料の需要が特に先進国や都市部で高まり、大気中に二酸化

炭素やメタン(CH_4)、亜酸化窒素(N_2O)が増大しつつある。今後の予測によれば、2050年の時点で、 CO_2 以外の温室効果ガスの温暖化に対する寄与率が40%に達すると予想されている。筆者らは汚濁小河川が CH_4 や N_2O の発生に大きく寄与していくことを想定して、琵琶湖集水域の典型である蛇砂川-西の湖・内湖水系について2年間に渡る観測を行った。

現在大気中における CO_2 、 CH_4 、 N_2O の濃度はそれぞれ385ppm、3ppm、300ppbとなっている。一分子当りの温室効果効率で比較すると1:30:300程度の比率になっており、今後 CH_4 や N_2O の発生に関しては一層の注意が求められる状況となっている。これら全ての温室効果ガスを二酸化炭素換算すると412ppmにならんとしている。

図1は各種温室効果ガスの温室効果への寄与率を示した。また図2には N_2O の発生源(ソース)とシンクに関する円グラフを示したが不明の発生源がかなりの量に及んでいることが示唆される。筆者等はこの点に関して汚濁都市河川の寄与を重視している。

さて、 N_2O の発生経路には大きく分けて、硝化系、脱窒系、燃焼の三つがある。前二者の経路に

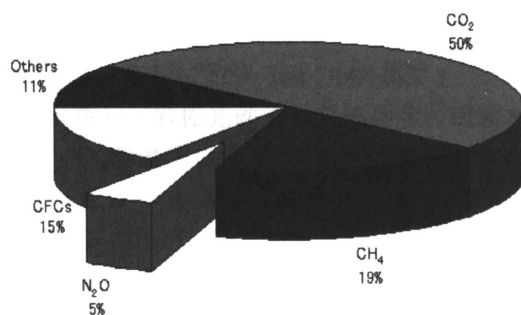
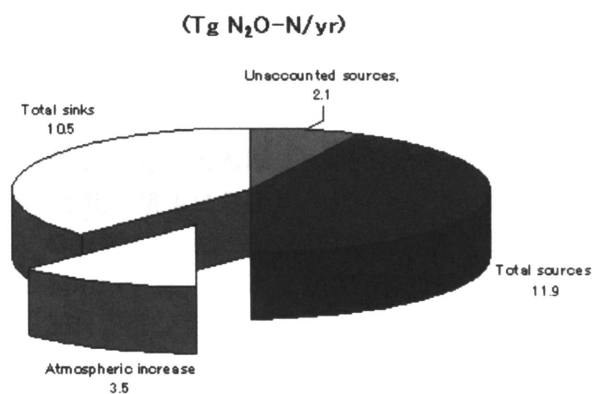


図1 温室効果ガスの温暖化への寄与率

図2 地球規模の N_2O ソースとシンク

ついでに模式図を図3に示した。

図3の下の図は N_2O の $\delta^{18}O - \delta^{15}N$ ダイアグラムであり、両プロセスが同位体分布によって区別がつけられることを意味している。一方、セミアネロビクな酸化還元層で脱窒が起こる場合には生成する $N_2O/(N^2+N_2O)$ 比によって $\delta^{18}N$ 、 $\delta^{15}N$ は大きく変動する。この比が1に近いとき N_2O の同位体比は小さくなり、ゼロに近くなると大きくなる。したがって上記の比率を推定することが可能となる。一般に堆積物中に硝酸が大量に存在する

とこの比は1に近づくことが知られている¹⁾。

2. 試料採取地点

図4 (a) (b) に蛇砂川、西の湖の試料採取地点を示した。試料の採取は2002年4月19日から5月30日の7回にわたってP3-1のプロジェクトの予備調査の一環として行われた。ガスフラックスの測定は図5に示した。フローティングチャンバーと固定チャンバーを用いて行った。

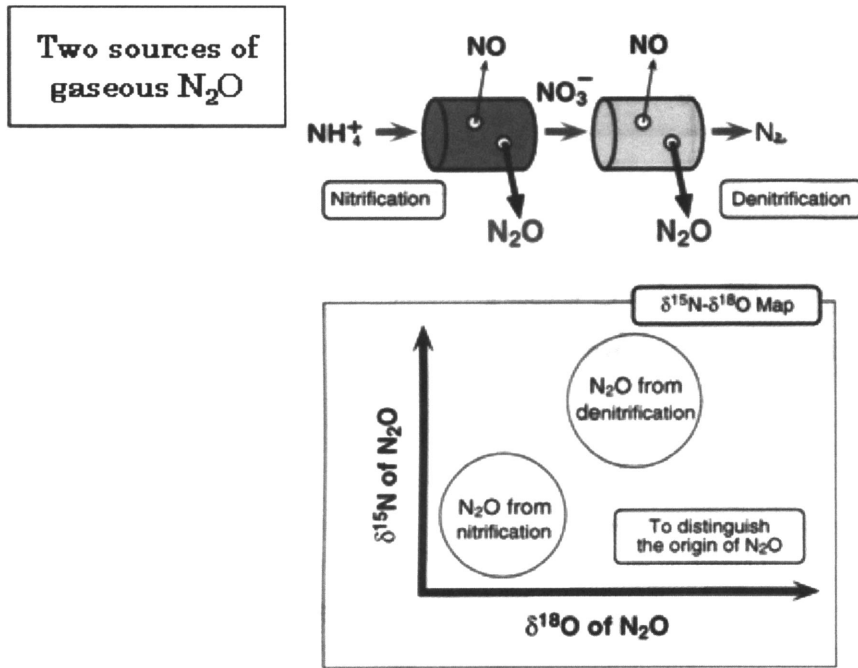


図3 N_2O の生成経路と酸素・窒素同位体分布（上田、日大による）

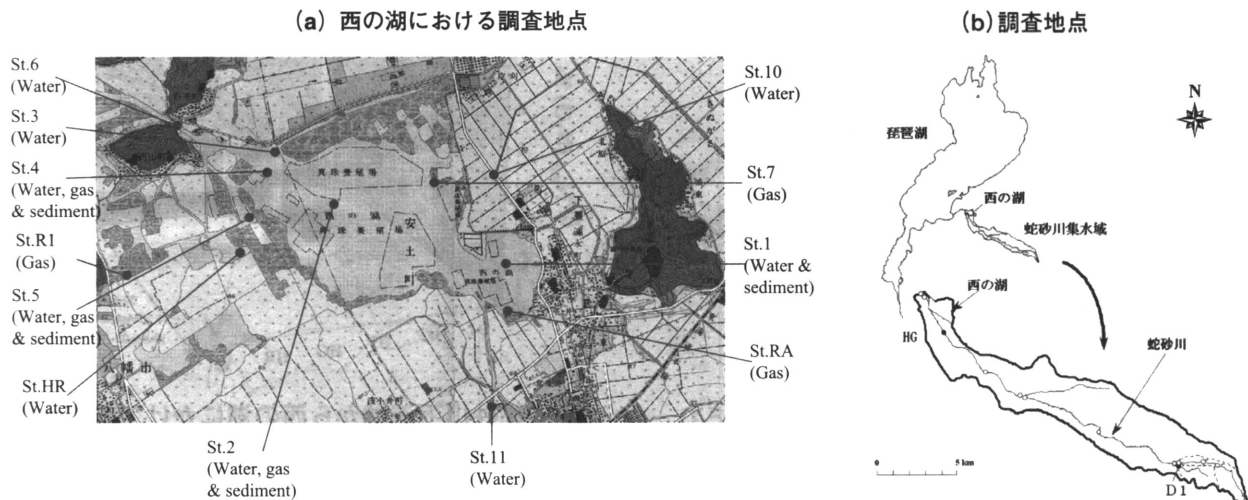


図4 (a), (b) 試料採取地点

3. 結果と考察

3.1 N₂Oのフラックスと同位体分布

蛇砂川下流域から西の湖にかけて観測された過剰N₂Oとその窒素同位体分布を図6に示した。河川下流と内湖でN₂Oが増大し、その $\delta^{15}\text{N}$ は小さくなった。これらの事実はこれら下流～内湖域でN₂Oの生産が活発に行われていることを示している。

3.2 中・下流域と西の湖の栄養塩の分布とN₂Oの同位体分布

2002年の6回にわたる観測結果を図8に示した。蛇砂川下流域HG点においてNO₃⁻やN₂Oが急増した。この変化に伴ってN₂Oの同位体分布にも変化が見出された。図8に示したように6回にわたって同じような結果を得た。

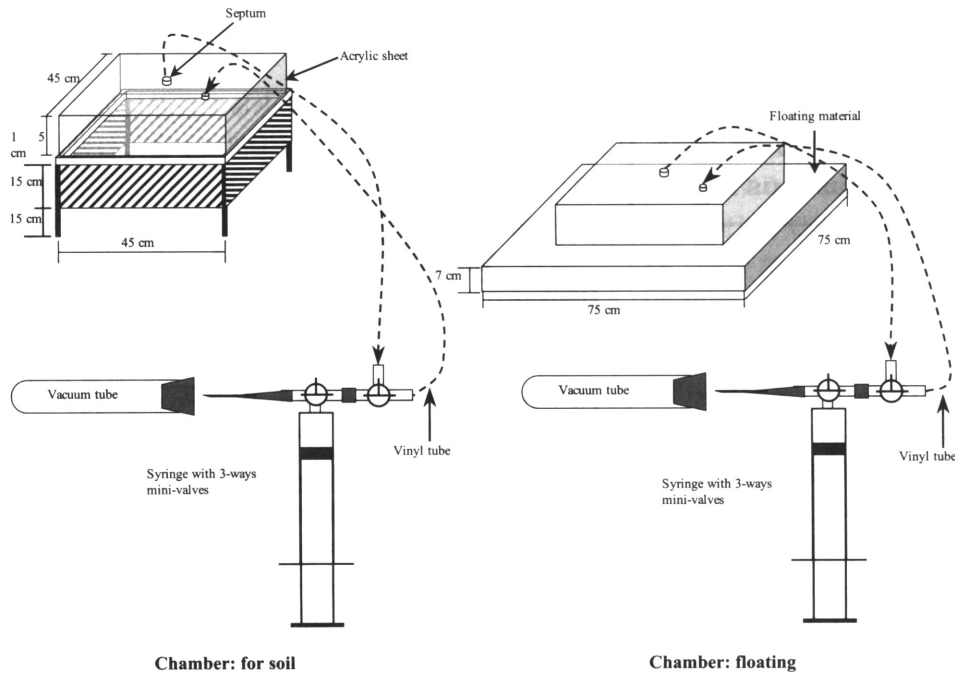


図5 ガスフラックス測定用チェンバー

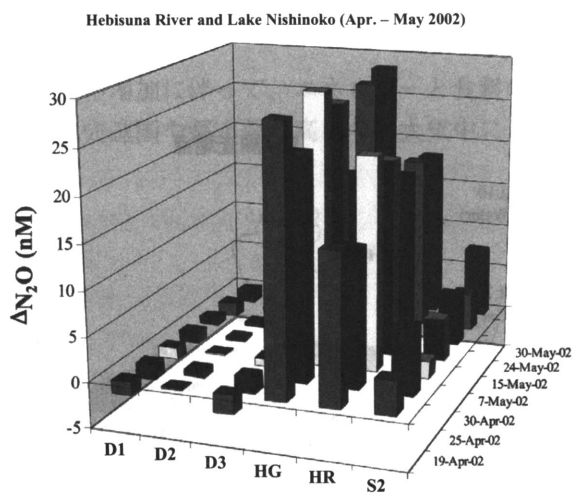


図6 蛇砂川下流域から西の湖にかけて観測された過剰N₂O

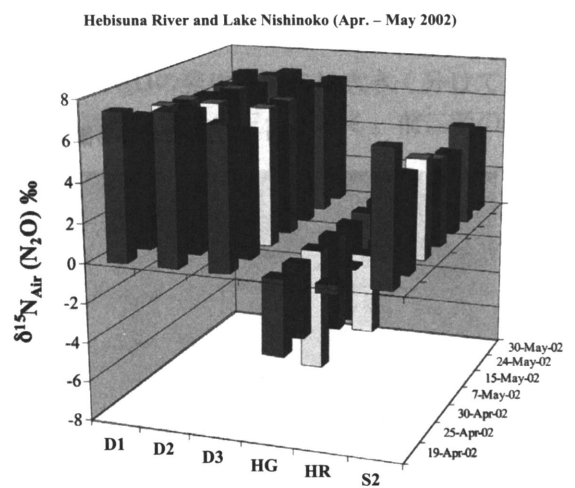


図7 蛇砂川下流域から西の湖にかけて観測された過剰N₂Oの窒素同位体

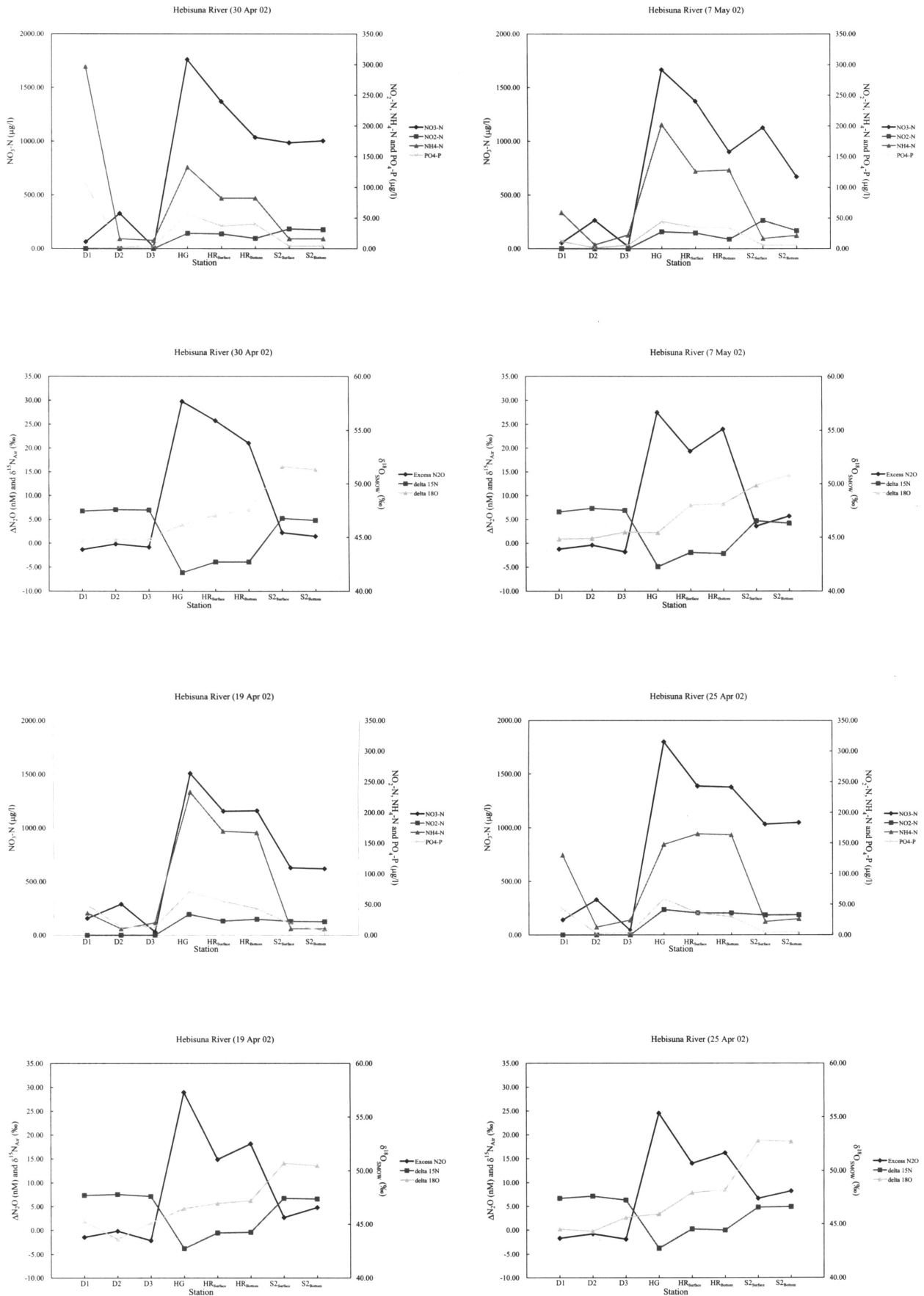


図8 蛇砂川から西の湖への流れに沿った栄養塩、N₂O、N₂O分子内同位体分布の変化

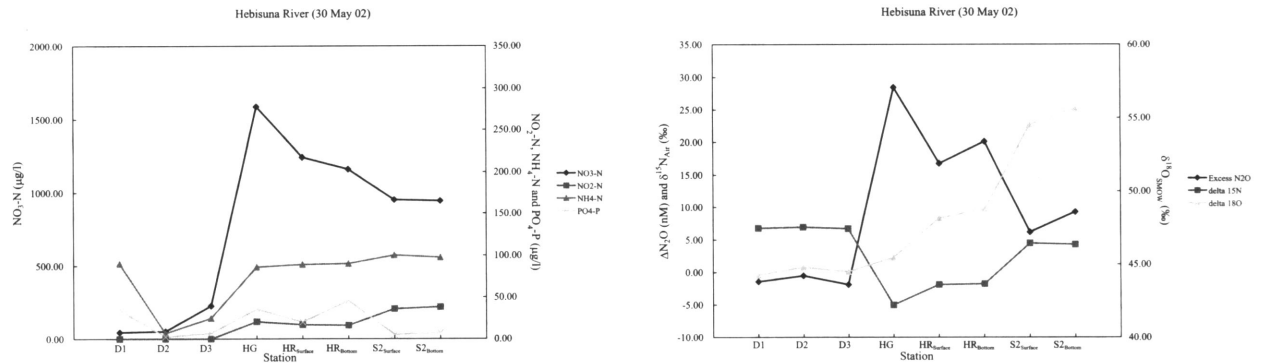


図8 つづき

3.3 フラックスの測定

今回試みたフラックス測定の結果を図9にまとめた。脱窒活性はアセチレンブロック法によって求めた。データの数は十分と言えないが、西の湖において有意な N_2O のフラックスを得た。

3.4 N_2O の生成過程

蛇砂川の最上流から河口まで NO_3^- を採取・分析し同時に溶存する N_2O の同位体分布を測定した結果を図10にまとめた²⁾。 N_2O の窒素同位体比と NO_3^- の濃度の間には図10のような直線関係が得られた。夏季と冬季で異なる直線を示したが、これが水温、河川流量、 NO_3^- の濃度などの環境因子の差異に起因すると考えられる。簡単な反応速度論のモデルを適用すると、この直線関係は N_2O が脱窒過程で生成したことを強く示唆している。

3.5 西の湖と流入河川が流域における N_2O の同位体分布

試料の採取は2000年7月から2001年8月に渡って実施された。得られた N_2O の酸素～窒素同位体比のダイアグラムを図11に示した。この水系の蛇砂川河口域では、およそ6～7%の値を持つ NO_3^- が流入してくる。

脱窒過程では NO_3^- から NO_2^- の生成と NO_2^- の還元でほぼ同じ程度の窒素同位体効果が起こる。したがって N_2 の生成が N_2O より多くなると N_2O の窒素同位体比は NO_3^- より高くなる。

今回得られたデータの大部分は、その窒素同位体比が6-7%より低い。このことは N_2 に比べて N_2O がより多く生産されていることを示唆している。

蛇砂川を例とした汚濁小河川の汚濁泥の蓄積と N_2O の発生に関する模式図を図12に示した。人口の集中が一般的に増大するアジア地域において、汚濁小河川の管理は今後対策可能な身近な問題として取り上げる必要がある。

4. まとめ

この下流域は有機物に富む汚泥が堆積し、最下流域と西ノ湖堆積物は高い N_2O 放出能を示す。酸化還元境界層の層状構造は乱れ、堆積物表層は酸化部位と還元部位が入れ子構造になり、そこに NO_3^- に富む水が流入し、脱窒がセミアネロビック（半嫌気条件下）で生起していることが NO_3^- の濃度と N_2O の $\delta^{15}N$ から推察された。都市周辺の汚濁の進んだ小河川は N_2O が最終生成物となる脱窒系が駆動している可能性が高いことを提示した。このようなセミアネロビック（半嫌気条件下）な場合は今後本格的な研究が必要不可欠となると共に、流域管理を水質から見たとき重要な検討事項となる。

参考文献

- 1) Wada, E., Yoshida, N., Yoshioka, T., Yoh, M., and Kabaya, Y., The abundance of ^{15}N in N_2O in aquatic ecosystems with emphasis on denitrification. Mitt. Internat. Verein., Limnol. 25 (1996) 115-123.
- 2) Nishikawa, J., ^{15}N Natural Abundance as an indicator of Anthropogenic Impact on Aquatic Ecosystems. MS Thesis, Dept. of Zoology, Faculty of Science, Kyoto University. (2002)

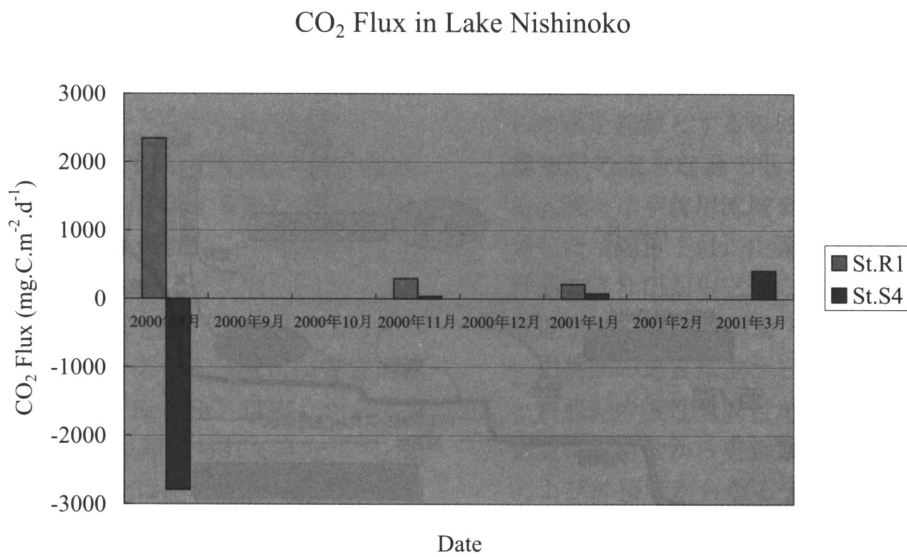
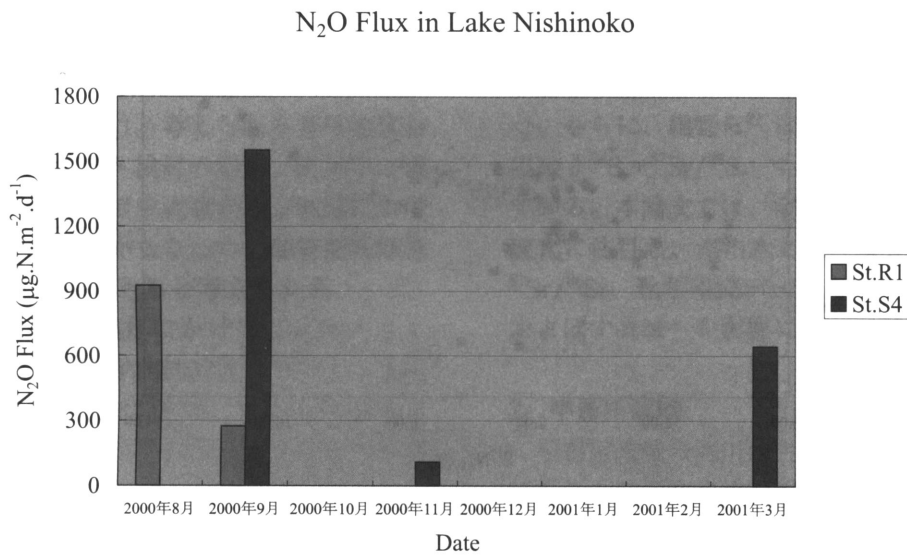
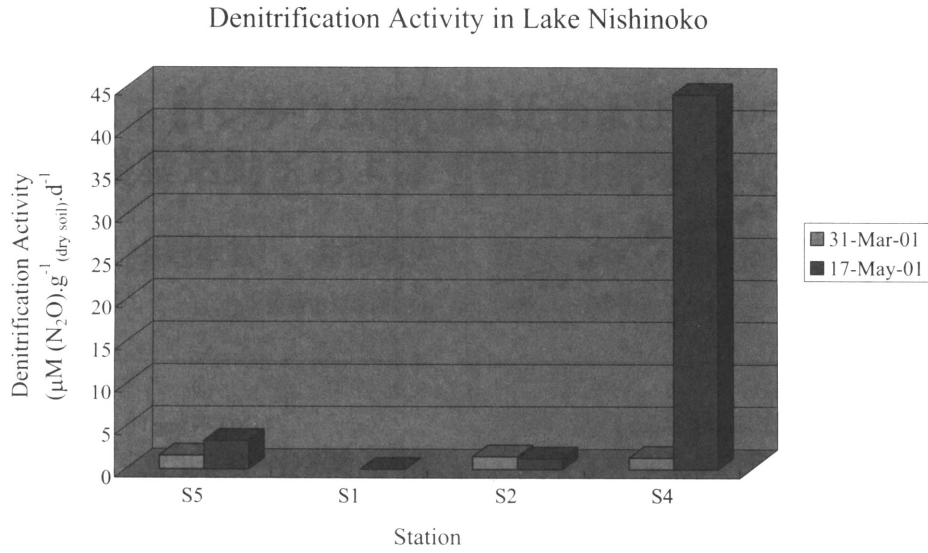


図9 フラックス測定の結果

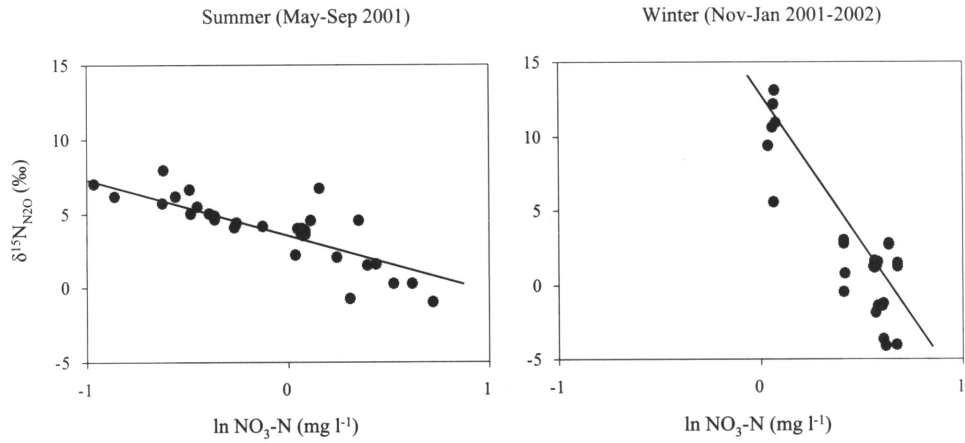


図10 西の湖におけるN₂Oの窒素同位体比とNO₃⁻の濃度の関係

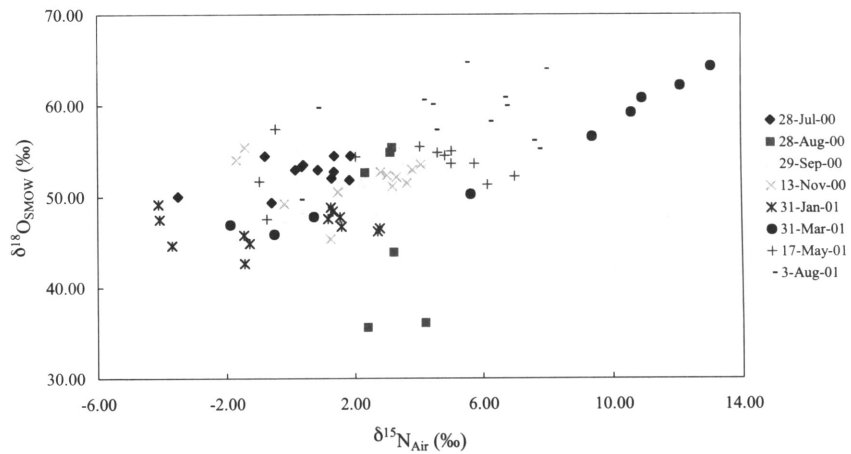


図11 西の湖と流入河川下流域におけるN₂Oの同位体マップ

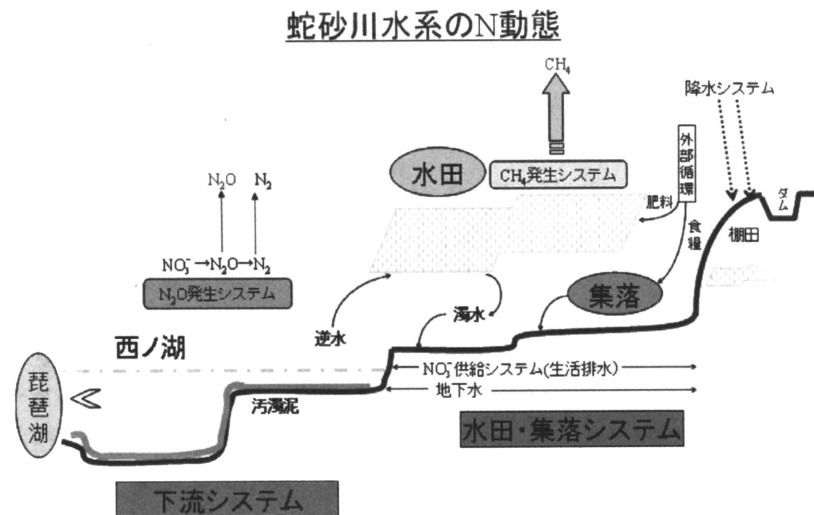


図12 蛇砂川水系の窒素動態